

**ANALISIS PENGARUH BAHAN *TOOL JOINT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
SAMBUNGAN PLAT KUNINGAN PADA PROSES *FRICTION*
*STIR WELDING***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas teknik**

Oleh:

BUDI SETYO WINARNO

D 200 120 137

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2019

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN *TOOL JOINT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
SAMBUNGAN PLAT KUNINGAN PADA PROSES *FRICTION*
*STIR WELDING***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

BUDI SETYO WINARNO

D 200 120 137

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Bibit Sugito, MT.

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN *TOOL JOINT* TERHADAP
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO
SAMBUNGAN PLAT KUNINGAN PADA PROSES *FRICTION*
*STIR WELDING***

OLEH

BUDI SETYO WINARNO

D 200 120 137

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 13 Agustus 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Ir. Bibit Sugito, MT.

(Ketua Dewan Penguji)


(.....)

2. Patna Partono, ST, MT.

(Anggota I Dewan Penguji)


(.....)

3. Agung Setyo Darmawan, ST, MT.

(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

Dekan,



Ir. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan pada daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 13 Agustus 2019

Penulis



BUDI SETYO WINARNO

D 200 120 137

ANALISIS PENGARUH BAHAN *TOOL JOINT* TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN PLAT KUNINGAN PADA PROSES *FRICTION STIR WELDING*

Abstrak

Proses penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah las. Pengelasan logam merupakan pilihan yang cukup tepat. Pengelasan tidak membutuhkan waktu yang lama, konstruksinya ringan, memiliki kekuatan sambungan yang cukup baik, serta biaya yang relatif murah. Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *friction stir welding*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro sambungan plat kuningan pada proses *friction stir welding* dengan variasi bahan *tool joint*. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material kuningan, sambungan menggunakan *butt joint*, parameter yang digunakan adalah kecepatan putar 1250 rpm, *feeding* 12.5 mm/menit. Bahan *tool joint* menggunakan baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2. Analisis dilakukan dengan melihat kekuatan sambungan, hasil pengelasan dibandingkan dengan pengelasan lainnya. Hasil pengujian ini menunjukkan tegangan tarik maksimal pengelasan menggunakan *tool joint* AISI 4340 yaitu sebesar 332.7 Mpa dan regangan maksimal menggunakan *tool joint* AISI O1 yaitu sebesar 5.94 %. Pengujian kekerasan di daerah *stir zone* semuanya mengalami peningkatan nilai kekerasan dibandingkan daerah *base metal* dan *HAZ*. Pengujian struktur mikro pada daerah *stir zone* terlihat ukuran butiran lebih kecil dan halus dibandingkan dengan daerah *HAZ* maupun *base metal*, sehingga pada daerah *stir zone* nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan daerah *HAZ* dan *base metal*.

Kata kunci: FSW, Bahan *Tool Joint*, Sifat Mekanik, Struktur Mikro.

Abstract

The metal joining process that is widely used in the manufacturing industry is welding. Metal welding is a fairly appropriate choice. Welding does not require a long time, the construction is light, has good connection capability, and relatively inexpensive costs. One relatively new welding technique is *friction stir welding*. This study discusses the mechanics and microstructure of brass plate joints in the *friction stir welding* with a variety of *tool joint* material. Welding in this research uses brass material, the connection using *butt joint*, the parameters used are rotational speed of 1250 rpm, *feeding* of 12.5 mm/minute. The *tool joint* material using AISI 4340 steel, AISI O1 and AISI D2. The analysis is done by looking at the strength of the connection, the results of welding compared to other welding. The results of this test show that the maximum tensile stress using the AISI 4340 joint tool is 332.7 Mpa and the maximum strain using the joint AISI O1 tool is 5.94%. Hardness testing in the *stir area* all improves *base metal* and *HAZ*. The microstructure testing in the *stir zone* shows that the grain size is smaller and smoother compared to the *HAZ* region

or base metal, so that in the stir zone the value is higher than the HAZ region and base metal.

Keywords: FSW, Tool Joint Material, Mechanical Properties, Micro Structure.

1. PENDAHULUAN

Friction Stir Welding (FSW) merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh *Wayne Thomas* pada tahun 1991 di *TWI (The Welding Institute) Cambridge, United Kingdom* dan mendapatkan hak paten pertama pada desember 1991 di *United Kingdom*. Teknik pengelasan FSW sebetulnya berawal dari keingintahuan dan percobaan laboratorium, tetapi dalam perkembangannya FSW menjadi teknik pengelasan yang banyak sekali memberikan manfaat terutama untuk logam *aluminium*.

Prinsip dasar dari proses pengelasan FSW sangat sederhana yaitu dengan menggunakan sebuah *tool* yang terdiri dari *pin* dan *shoulder* yang diputar pada kecepatan putaran tertentu. *Tool* tersebut kemudian melakukan penetrasi pada 2 buah ujung pelat atau lembaran logam yang akan disambung. Setelah penetrasi pada tingkat kedalaman tertentu, *tool* akan bergerak sepanjang garis sambungan antara logam yang disambung.

Dalam pengelasan FSW, *tool* memiliki 2 peranan utama yaitu memanaskan logam induk yang akan disambung dan menggerakkan material untuk menghasilkan sambungan. Panas yang dihasilkan pada pengelasan FSW tercipta akibat adanya gesekan antara *tool* FSW dan benda kerja. Panas lokal yang terjadi mengakibatkan adanya pelunakan logam induk bagian adukan *tool*. Kombinasi putaran dan translasi *tool* FSW memungkinkan material bergerak dari sisi depan *pin* hingga sisi belakang *pin*.

Metode pengelasan ini telah banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, otomotif, perkapalan dan industri komersial lainnya karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pengelasan konvensional lainnya. Kelebihan-kelebihan itu diantaranya proses pengelasan ini memiliki tingkat distorsi yang rendah, tidak memerlukan logam pengisi tidak memerlukan gas pelindung dan tidak menghasilkan asap.

Sebagai salah satu teknik pengelasan yang relatif baru, pengembangan FSW saat ini masih sangat luas cakupannya. Variabel-variabel yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan. Kuningan adalah bahan umum yang banyak digunakan dalam dunia otomotif dan industri perkapalan. FSW untuk material kuningan masih jarang dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih luas lagi. Dalam hal ini akan dilakukan penelitian tentang *friction stir welding* kuningan dengan variasi bahan *tool joint*. Diharapkan dari proses FSW ini didapat kesimpulan bagaimana pengaruh bahan *tool joint* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan plat kuningan pada proses *friction stir welding*.

2. METODE

2.1 Alat Penelitian

Alat Pengelasan : Mesin *milling* dan *tool joint*

Alat Bantu : Mesin *shearing*, gergaji, kikir, amplas, *spot infrared thermometer*, cekam, jangka sorong, ragum, cairan etsa, resin dan katalis.

Alat pengujian : *Universal testing machine*, *Spectrometer*, *Microhardness vickers*, *Microskop micro*.

2.2 Bahan Penelitian

Material : Plat Kuningan

Tool Joint : Baja AISI 4340, AISI O1 dan AISI D2

2.3 Tempat Penelitian

Tempat Penelitian : Laboratorium Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta (BBLKI), laboratorium Solo *Technopark*, Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper Klaten, Laboratorium Teknik Mesin Akademi Teknik Warga Surakarta, Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

2.4 Proses Penelitian

a. Persiapan

Mempersiapkan alat yang akan digunakan pada saat proses penelitian, yaitu : pencekam material, *tool joint* dan mesin *milling* serta alat penunjangnya. Membeli material yang akan digunakan saat penelitian yaitu: plat kuningan.

b. Pengelasan

Pada penelitian ini menggunakan parameter sebagai berikut:

- *Rotation speed* : 1250 rpm
- *Feeding* : 12.5 mm/menit
- Kemiringan *tool* : 1°
- *Depth plunge* : 1.4 mm

c. Pembuatan spesimen uji

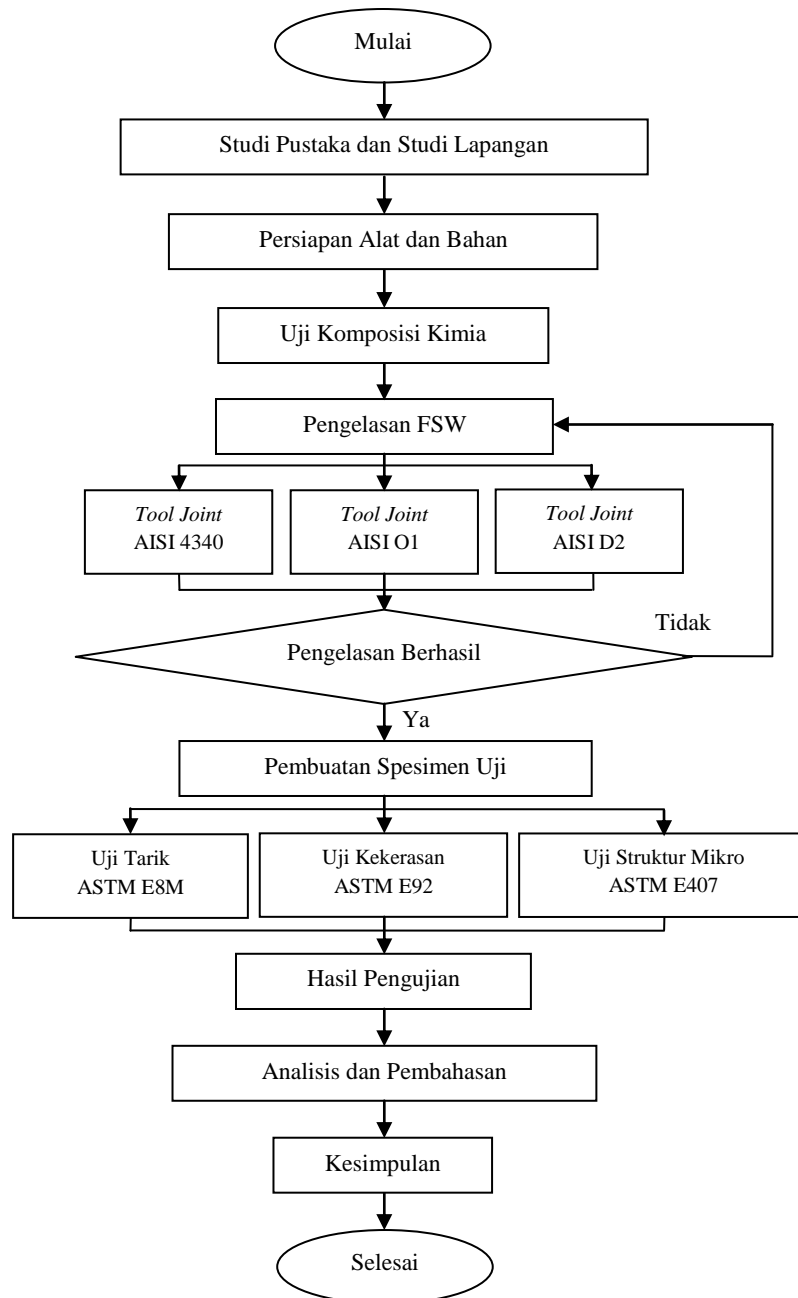
Spesimen uji dibuat sesuai dengan standar yang digunakan, yaitu:

- Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8M
- Pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E92
- Pengujian foto mikro menggunakan standar ASTM E407

d. Melakukan pengujian dengan menggunakan standar yang telah ditentukan.

e. Mengambil data hasil pengujian untuk dianalisis lebih lanjut.

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Data hasil pengujian komposisi kimia

Tabel 1. Komposisi Kuningan

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Cu	62.3
2	Zn	36.4
3	Pb	0.0814
4	Sn	0.252
5	Mn	0.0156
6	Fe	0.123
7	Ni	0.0438
8	Si	0.0473
9	Mg	<0.0050
10	Cr	0.0136
11	Al	0.364
12	As	0.0386
13	Be	<0.0020
14	Ag	0.0073
15	Co	0.0293
16	Bi	0.0431
17	Cd	0.0741
18	Zr	0.0036

Tabel 3. Komposisi AISI O1

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	96.3
2	C	1.18
3	Si	0.145
4	Mn	1.08
5	P	<0.0050
6	S	<0.0050
7	Cr	0.472
8	Mo	0.0195
9	Ni	0.0388
10	Al	<0.0020
11	Co	0.0625
12	Cu	0.0516
13	Nb	0.0268
14	Ti	0.0041
15	V	0.0126
16	W	0.528
17	Pb	<0.0100
18	Ca	0.0005
19	Zr	0.0119

Tabel 2. Komposisi AISI 4340

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	96.1
2	C	0.338
3	Si	0.137
4	Mn	0.607
5	P	<0.0050
6	S	<0.0050
7	Cr	1.25
8	Mo	0.243
9	Ni	1.10
10	Al	0.0040
11	Co	0.0936
12	Cu	0.0599
13	Nb	0.0155
14	Ti	<0.0020
15	V	0.0184
16	W	<0.0250
17	Pb	<0.0100
18	Ca	0.0009
19	Zr	0.0100

Tabel 4. Komposisi AISI D2

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	86.0
2	C	0.214
3	Si	0.287
4	Mn	0.362
5	P	0.0652
6	S	0.0395
7	Cr	12.6
8	Mo	0.0461
9	Ni	0.0959
10	Al	<0.0020
11	Co	0.0624
12	Cu	0.0657
13	Nb	0.0266
14	Ti	0.0127
15	V	0.0693
16	W	<0.0250
17	Pb	0.0226

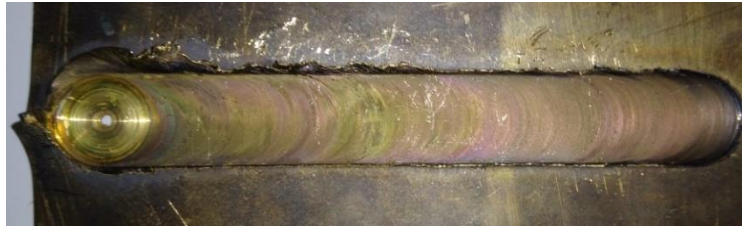
3.2 Foto Hasil Pengelasan FSW

Foto hasil penelitian *FSW* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

a. Pengelasan dengan *tool joint* baja AISI 4340

Hasil pengelasan:

- Permukaan cukup halus
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 395^{\circ}\text{C}$



Gambar 2. Hasil Pengelasan Dengan *Tool Joint* Baja AISI 4340

b. Pengelasan dengan *tool joint* baja AISI O1

Hasil pengelasan:

- Permukaan halus
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 207^{\circ}\text{C}$



Gambar 3. Hasil Pengelasan Dengan *Tool Joint* Baja AISI O1

c. Pengelasan dengan *tool joint* AISI baja AISI D2

Hasil pengelasan:

- Permukaan cukup kasar
- Pengelasan stabil
- Suhu pengelasan $\pm 232^{\circ}\text{C}$

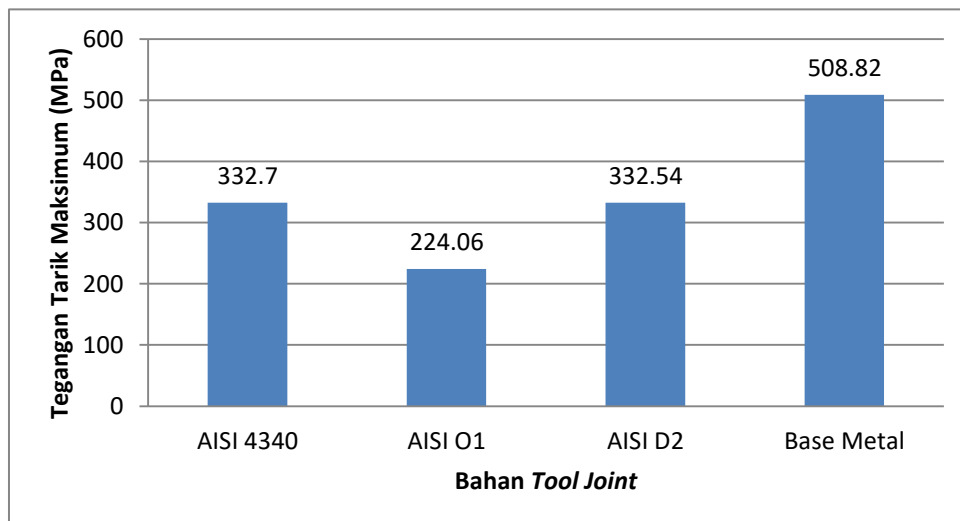


Gambar 4. Hasil Pengelasan Dengan *Tool Joint* Baja AISI D2

3.3 Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik

Tabel 5. Data Tegangan Hasil Pengujian Tarik FSW dengan variasi bahan *tool joint*.

Material	No	0 (mm^2)	P max (N)	Tegangan tarik Maksimum (MPa)	Rata-rata Tegangan Tarik Maksimum (MPa)
AISI 4340	1	9.6	2907.91	302.91	332.7
	2	9.6	3390.06	353.13	
	3	9.6	3283.69	342.05	
AISI O1	1	9.6	2197.33	228.89	224.06
	2	9.6	2269.99	236.46	
	3	9.6	1985.67	206.84	
AISI D2	1	9.6	2611.15	271.99	332.54
	2	9.6	3643.90	379.57	
	3	9.6	3322.21	346.06	
BM	1	9.6	4639.68	483.3	508.82
	2	9.6	4569.33	475.97	
	3	9.6	4484.88	567.18	



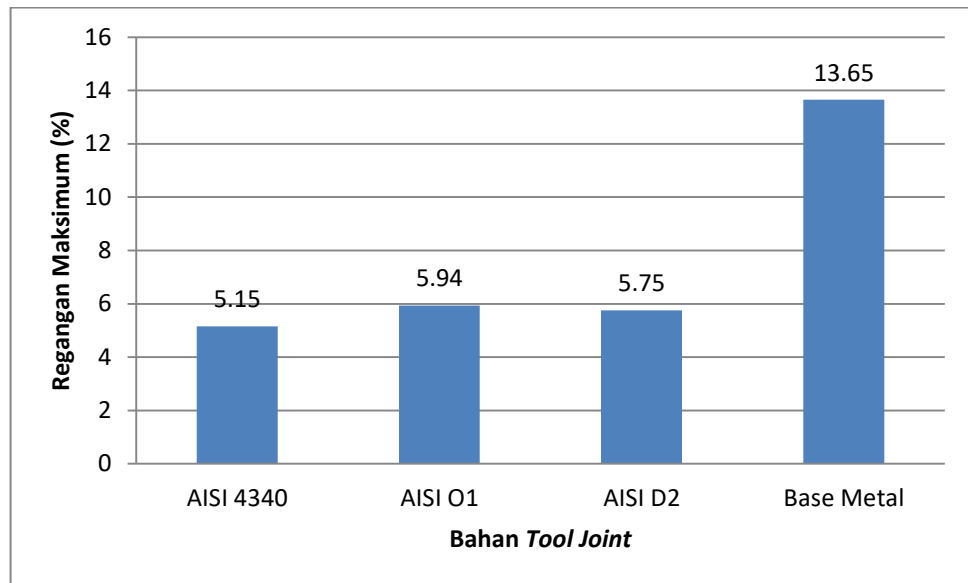
Gambar 5. Histogram Perbandingan Tegangan Hasil Pengujian Tarik FSW Dengan Variasi Bahan *Tool Joint*.

Dilihat dari gambar 5 menunjukkan nilai tegangan tarik yang terbesar pada pengelasan yang menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai tegangan tarik 332.7 MPa. Kemudian nilai tegangan tarik terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai tegangan tarik 332.54 MPa. Dan nilai tegangan tarik paling rendah pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai tegangan tarik 224.06 MPa. Hal ini dikarenakan sifat material yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur saat proses pengelasan sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil sambungan material tersebut. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan tarik *base metal* kuningan yang sebesar 508.82 MPa. Maka nilai tegangan tarik hasil pengelasan FSW yang tertinggi hanya 65% dari nilai tegangan tarik kuningan tersebut.

3.4 Data Regangan Hasil Pengujian Tarik

Tabel 6. Data Regangan Hasil Pengujian Tarik FSW dengan variasi bahan *tool joint*.

Material	No	l_0 (mm)	Δl (mm)	Regangan Maksimum (%)	Rata-rata Regangan Maksimum (%)	Batas Patahan
AISI 4340	1	32	1.21	3.78	5.15	<i>Stir Zone</i>
	2	32	1.93	6.03		<i>Stir Zone</i>
	3	32	1.8	5.63		<i>Stir Zone</i>
AISI O1	1	32	1.96	6.13	5.94	<i>Stir Zone</i>
	2	32	2.4	7.5		<i>Stir Zone</i>
	3	32	1.34	4.19		<i>Stir Zone</i>
AISI D2	1	32	0.93	2.91	5.75	<i>Stir Zone</i>
	2	32	2.65	8.28		<i>Stir Zone</i>
	3	32	1.94	6.06		<i>Stir Zone</i>
BM	1	32	5.2	16.25	13.65	-
	2	32	4.1	12.81		-
	3	32	3.8	11.88		-



Gambar 6. Histogram Perbandingan Regangan Hasil Pengujian Tarik FSW Dengan Variasi Bahan *Tool Joint*.

Dilihat dari gambar 6 menunjukkan nilai regangan terbesar pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai regangan 5.94 %. Kemudian nilai regangan terbesar selanjutnya pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai regangan 5.75 %. Dan nilai regangan paling rendah pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai regangan 5.15 %. Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan patah terjadi pada spesimen bagian *stir zone*.

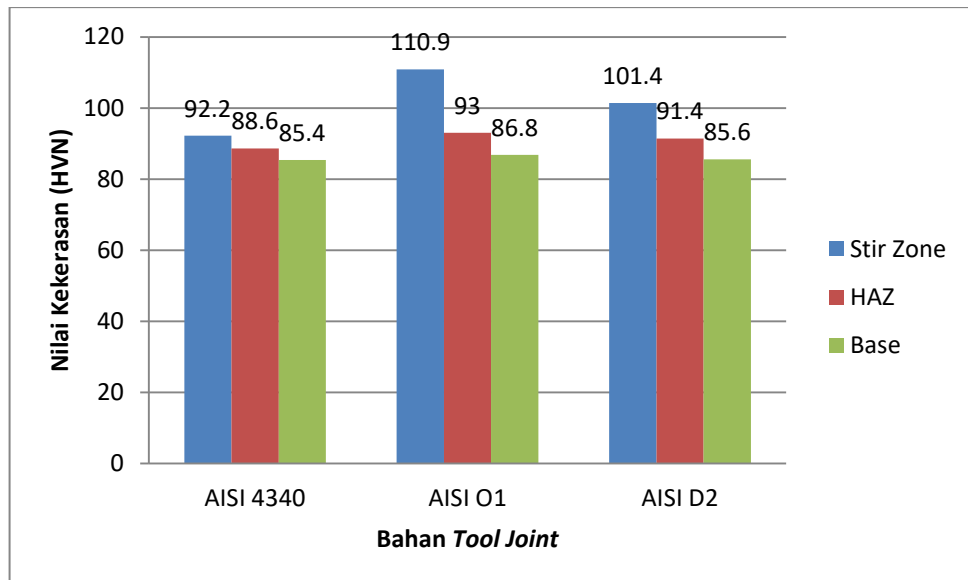
3.5 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan dilakukan setiap spesimen pengelasan, pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan *Vickers Microhardness* dengan beban 0.25 kgf, waktu penekanan 15 detik.

Tabel 7. Data Nilai Kekerasan FSW Dengan Variasi Bahan *Tool Joint*

No	<i>Tool joint</i>	Daerah	Nilai Kekerasan (HVN)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HVN)
1	AISI 4340	<i>Stir Zone</i>	87.3	92.2
			92.6	
			96.7	
		<i>HAZ</i>	89.2	88.6
			92.3	
			84.3	

2	AISI O1	Base	86	85.4
			83.3	
			86.8	
		Stir Zone	107.8	110.9
			108.9	
			116.1	
		HAZ	98.2	93
			87.5	
			93.3	
		Base	87.7	86.8
			86.5	
			86.2	
3	AISI D2	Stir Zone	102.8	101.4
			99.6	
			101.9	
		HAZ	92.8	91.4
			90.3	
			91.1	
		Base	83.3	85.6
			87.7	
			85.9	



Gambar 7. Histogram Perbandingan Nilai Kekerasan FSW Dengan Variasi Bahan Tool Joint

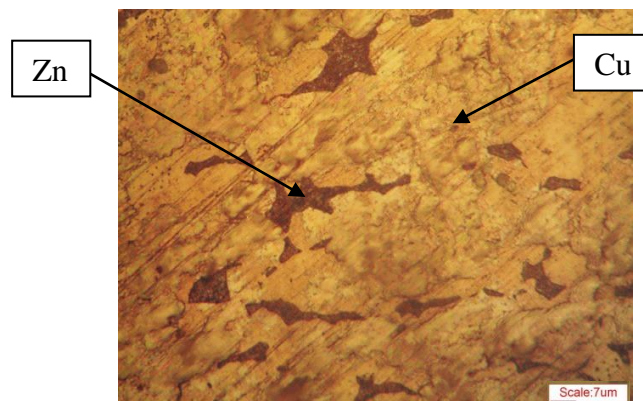
Dari histogram uji kekerasan menunjukkan nilai-nilai kekerasan pada tiap daerah *base*, *HAZ* dan las pada setiap variabel pengelasan *friction stir*

welding dengan variasi bahan *pin* memiliki nilai kekerasan yang berbeda pada setiap bidang ujinya. Dan dari data tersebut dapat diperoleh bahwa pada semua daerah *stir zone* mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibanding daerah lainnya, yaitu *HAZ* dan *base metal*. Hal ini dikarenakan ukuran butiran pada daerah *stir zone* lebih halus dibandingkan dengan daerah *HAZ* maupun *base metal*, karena semakin kecil ukuran butiran maka semakin tinggi nilai kekerasannya dan sebaliknya. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai kekerasan 110.9 HVN. Kemudian nilai kekerasan paling tinggi selanjutnya terdapat pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI D2 dengan nilai kekerasan 101.4 HVN. Dan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada daerah *stir zone* pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai kekerasan 92.2 HVN.

3.6 Foto Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada proses pengelasan. Hasil pengelasan *friction stir welding* mempunyai beberapa daerah pengelasan yaitu *stir zone*, *HAZ* dan *base metal*.

1. Base Metal

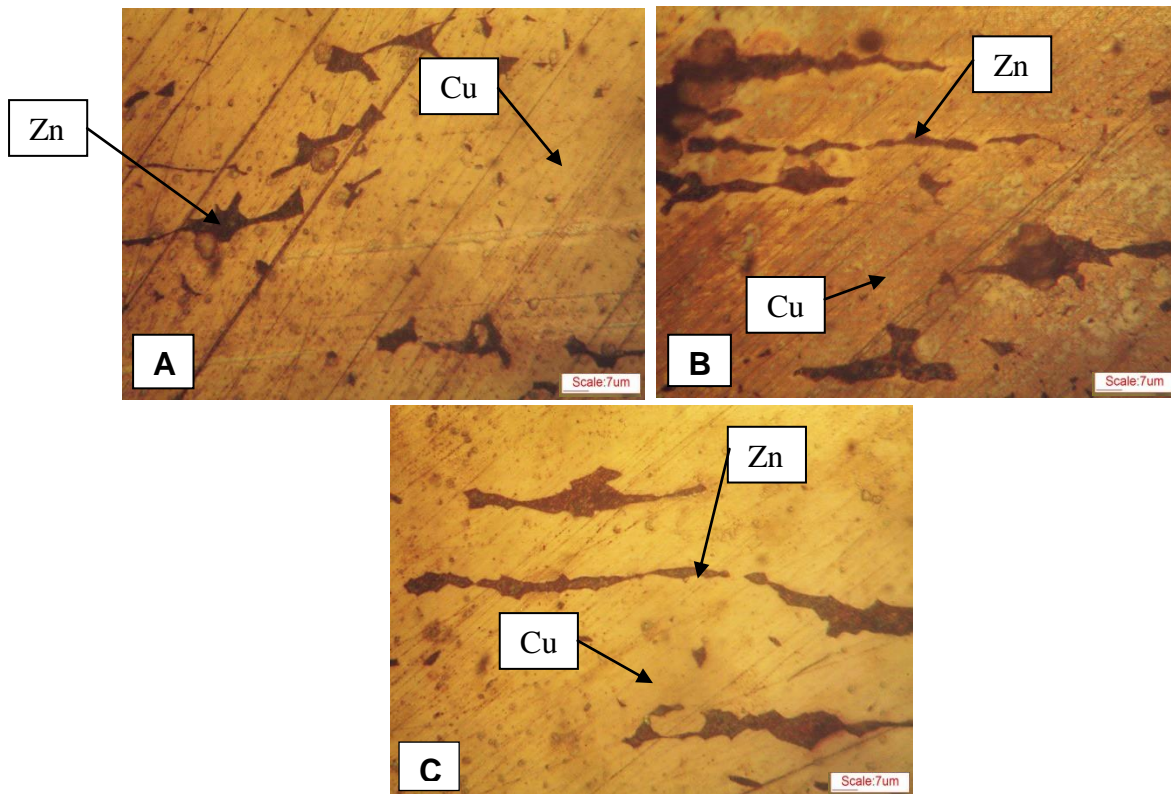


Gambar 8. Struktur Mikro Daerah *Base Metal*

Base metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh oleh panas pengelasan baik adukan maupun panas yang ditimbulkan. Dari foto hasil pengujian struktur mikro dan uji komposisi kimia terdapat 2 unsur yang

mendominasi pada kuningan yaitu tembaga (Cu)=62.3 % dan seng (Zn)=36.4%. Unsur tembaga (Cu) berupa butiran besar berwarna khas kekuningan, sedangkan unsur seng (Zn) berupa butiran kecil memanjang berwarna hitam.

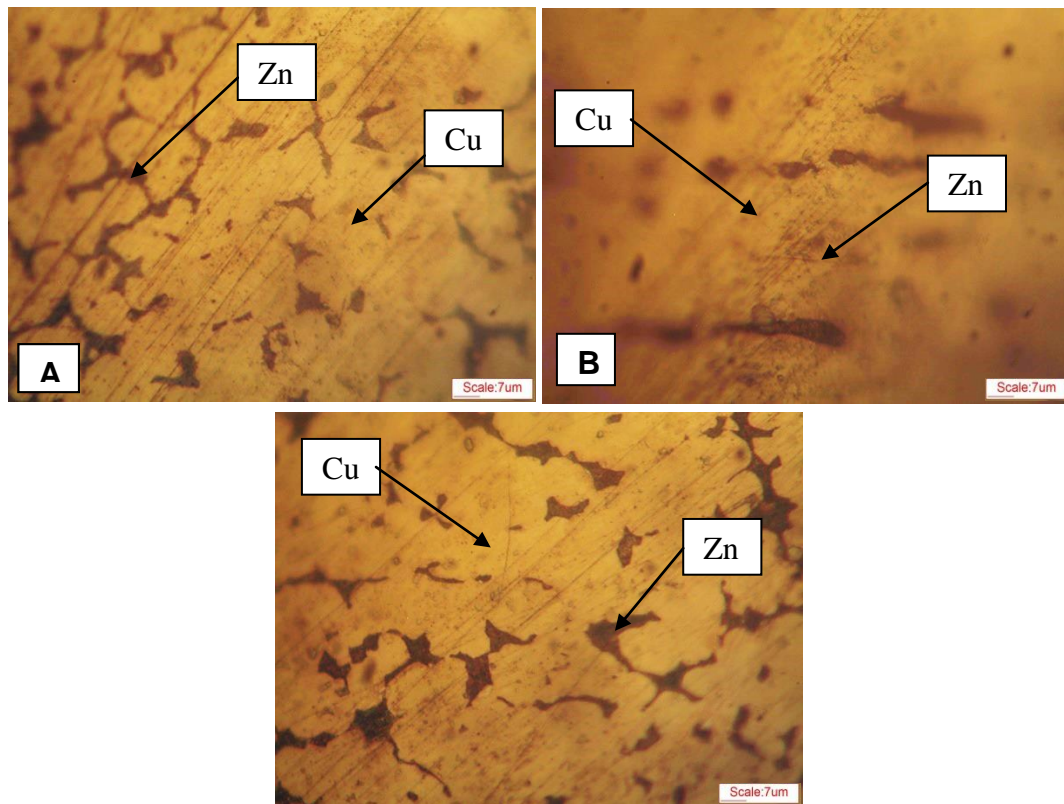
2. HAZ



Gambar 9. Struktur Mikro Daerah *HAZ*, (A) Baja AISI 4340, (B) Baja AISI O1, (C) Baja AISI D2

Daerah *HAZ* merupakan daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami defromasi plastis. Daerah *HAZ* akan terjadi perubahan ukuran butir, dimana ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pengelasan, dan laju pendinginan. Pada gambar 9 ukuran butir *HAZ FSW* mengalami sedikit perubahan ukuran butir semakin besar dibandingkan dengan *base metal*.

3. Stir Zone



Gambar 10. Struktur Mikro Daerah *Stir Zone*, (A) Baja AISI 4340, (B) Baja AISI O1, (C) Baja AISI D2

Stir Zone adalah daerah yang terdampak langsung oleh panas yang dihasilkan pada saat pengelasan dan daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari *pin tool*. Pada gambar 10 terlihat struktur mikro daerah *stir zone* dari semua hasil pengelasan mengalami perubahan ukuran butiran menjadi sangat kecil dan terlihat halus dibandingkan daerah *haz* maupun *base metal*. Pada daerah *stir zone* terjadi *grain refinement*, maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan rekrstalisasi yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. Semakin banyak batas kristal (kristal nya semakin halus) maka semakin besar tingkat rintangan yang terjadi terhadap gerakan dislokasi, yang berarti semakin keras pada bagian tersebut.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil dari pengujian tarik pengelasan diperoleh nilai tegangan tarik paling tinggi menggunakan *tool joint* menggunakan baja AISI 4340 dengan nilai 332.7 MPa. Sedangkan untuk nilai regangan paling tinggi menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai 5.94 %.
- b. Hasil dari pengujian kekerasan, nilai kekerasan paling tinggi daerah *stir zone* terdapat pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI O1 dengan nilai kekerasan 110.9 HVN. Sedangkan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada pengelasan menggunakan *tool joint* baja AISI 4340 dengan nilai kekerasan 92.2 HVN.
- c. Hasil foto struktur mikro pada pengelasan kuningan daerah *stir zone* terlihat ukuran butiran lebih kecil dan halus dibandingkan dengan daerah *HAZ* maupun *base metal*, sehingga pada daerah *stir zone* nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan daerah *HAZ* dan *base metal*.

4.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu penulis menyarankan untuk:

- a. Pemilihan material yang akan diteiti usahakan sudah tersertifikasi agar tidak melakukan pengujian komposisi kimia lagi.
- b. Saat proses pengelasan diharapkan menggunakan alat kelengkapan keselamatan.
- c. Literatur dan referensi diharapkan untuk lebih dipahami lebih lanjut demi menunjang penelitian yang lebih baik.
- d. Pada saat mencekam benda kerja harus diperhatikan, benda kerja harus rapat dan dicekam dengan kuat agar tidak bergeser saat proses pengelasan.
- e. Dari hasil pengelasan bila perlu mengulangi lagi untuk mendapatkan hasil yang terbaik agar mempermudah dalam mengolah data hasil pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 1997, *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM E92.
- American Society for Testing and Materials, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM E8M-04.
- American Society for Testing and Materials, 2011, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM E407.
- ASM International, 1998, *ASM Handbook Vol 15: Casting*. 9th Edition.
- Edward, Z., Hendropasetyo, W., 2013, *Pengaruh Bentuk Probe Pada Tool Shoulder Terhadap Metalurgi Aluminium Seri 5083 Dengan Proses Friction Stir Welding*, JURNAL TEKNIK POMITS S Vol. 2, No. 1
- Fuji, H., Cui, L., Maeda, M., 2006, *Effect Of Tool Shape On Mechanical Properties And Microstructure Of Friction Stir Welded Aluminium Alloys*. Materials Science & Engineering A, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.11.045>
- Geoghegan, E., 1992, *Metallurgi Mekanik*, PT. Erlangga, Jakarta.
- Groover, M.P., 2010, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Material, Processes and Systems*, Hoboken, Wiley.
- Hartanto, 2018, *Analisis Struktur Mikro Dan Kekuatan Penyambungan Plat (Cu-Cu) (Cu-CuZn) (Cu-Al) Menggunakan Metode Friction Stir Welding*, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Iqbal, M., Tarkono., Ibrahim, G.A., 2014, *Pengaruh Putaran dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Friction Stir Welding Aluminium 5052*, Jurnal Fema, Vol. 2, No. 1, Hal 23-27.
- Kalpakjian, S. dan Schmid, S.R., 2009, *Manufacturing Engineering and Technology*, Sixth Edition, Prentice Hall, New York
- Kenyon, W., Ginting, D., 1985, *Dasar-dasar Pengelasan*, Erlangga, Jakarta.
- Mishra, R.S., Kumar, N., dan De, P.S., 2014, *Friction Stir Welding And Processing: Science And Engineering*, Springer International, Swiss
- Mishra, R.S., Ma, Y.Z., 2005, *Friction Stir Welding And Processing Material Science And Engineering*, R 50:1-78
- Mishra, R.S., dan Mahoney, M.W., 2007, *Friction Stir Welding And Processing Material Science And Engineering*, www.asminternational.org
- Park, H.W., Kimura, T., Murakami, T., Nagano, Y., Nakata, K., Ushio, M., 2003, *Microstructures And Mechanical Properties Of Friction Stir Welds Of 60% Cu–*

40% Zn Copper Alloy. Materials Science & Engineering A, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.11.030>

Schumann, 1983, *Metallographie*. VEB Deutsche Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig

Sunn, Y.F., Xu, N., Fujii, H., 2013, *The Microstructure And Mechanical Properties Of Friction Stir Welded Cu-30Zn Brass Alloys*, Materials Science & Engineering A, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.09.0194>

Surdia, T. dan Saito, S., 2005, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan keenam. Jakarta, Pradya Paramita

Triyoko, D., 2016, *Analisa Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Sambungan Las Beda Propertis Alumunium Dengan Metode Friction Stir Welding*, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Wirjosumarto, H., Okumura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-8, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.